

LA FATIGUE

Idées actuelles sur ses causes

Ses formes cliniques

Tests d'appréciation du degré de fatigue

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 18 Juillet 1942

PAR

SINÉ Henri

Externe des Hopitaux de Bordeaux

Né le 30 Mai 1915, à Vernet-les-Bains (Pyrénées-Orientales)

Pour l'obtention du Grade de Docteur en Médecine

Examineurs de la Thèse	{	HÉDON, professeur, <i>Président</i>	{	<i>Assesseurs</i>
		LAMARQUE, professeur		
		MONNIER, agrégé		
		CADERAS DE KERLEAU, agrégé		

MONTPELLIER

IMPRIMERIE DU PROGRÈS

7, Rue Castel-Moton — Téléphone 51-85

1942

LA FATIGUE

Idées actuelles sur ses causes

Ses formes cliniques

Tests d'appréciation du degré de fatigue

UNIVERSITE DE MONTPELLIER

FACULTÉ DE MÉDECINE

N° 64

LA FATIGUE

Idées actuelles sur ses causes

Ses formes cliniques

Tests d'appréciation du degré de fatigue

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 18 Juillet 1942

PAR

SINÉ Henri

Externe des Hopitaux de Bordeaux

Né le 30 Mai 1915, à Vernet-les-Bains (Pyrénées-Orientales)

Pour l'obtention du Grade de Docteur en Médecine

Examineurs de la Thèse	{	HÉDON, professeur, <i>Président</i>	}	<i>Assesseurs</i>
		LAMARQUE, professeur		
		MONNIER, agrégé		
		CADERAS DE KERLEAU, agrégé		

MONTPELLIER

IMPRIMERIE DU PROGRÈS

7, Rue Castel-Moton — Téléphone 51-85

1942

Personnel de la Faculté

PROFESSEURS

Chaires:

Anatomie
Histologie
Physiologie
Chimie biologique médicale et toxicologie
Physique médicale
Anatomie pathologique et médecine expérimentale
Microbiologie
Pathologie et thérapeutique générales
Thérapeutique et matière médicale
Hydrologie thérapeutique et climatologie
Hygiène
Médecine légale et médecine sociale
Pathologie médicale et clinique propédeutique
Clinique médicale
—
Clinique chirurgicale
—
Clinique obstétricale
Clinique des maladies mentales et nerveuses
Clinique des maladies des enfants et hygiène du 1 ^{er} âge
Clinique de dermato-syphillographie
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie
Clinique des maladies des voies urinaires
Clinique gynécologique
Clinique ophtalmologique
Clinique d'oto-rhino-laryngol. et chirurgie maxillo-faciale

MM. J. DELMAS.
TURCHINI.
HEDON.
CRISTOL.
PECH.
BAUMEL.
LISBONNE.
PAGES.
JANBON.
PUECH.
CARRIEU.
VIDAL.
BOULET.
L. RIMBAUD.
GRAUD, doyen.
MASSABUAU, assesseur.
RICHE.
P. DELMAS.
EUZIERE, doyen honor.
BOUDET.
MARGAROT.
ETIENNE.
JEANBRAU.
LAPEYRE.
DEJEAN.
TERRACOL.

Charges de cours:

Anatomie
Histologie
Radiologie
Propédeutique chirurgicale

LAUX.
GRANEL.
LAMARQUE
AIMES.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. TEDENAT, FORGUE, ESTOR, BERTIN-SANS, CABANNES,
GALAVIELLE, VIRES, BOSCH, VILLARD, GRYNFELT

CHARGES D'ENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

MM.
Chimie MONNIER, agrégé.
Microbiologie CARRERE, agrégé.
Histoire nat. médicale HARANT, agrégé.
Pharmacologie HARANT, agrégé.
Pathologie médicale BOUCOMONT, agr.
— BERT, agrégé.
Propédeutique médicale P. RIMBAUD, agr.
Clinique interne PUECH, professeur.
Clinique des maladies contagieuses JANBON, professeur.

MM.
Clinique de la tuberculose VIDAL, professeur.
Pathologie chirurgicale MOURGUE
— MOLINES, agr.
— TRUC, agrégé.
Chirurgie expériment. GUIBAL, agrégé.
Médecine opératoire ROUX, agrégé.
Accouchements CADERAS
— de KERLEAU, agr.
Stomatologie N.

AGREGES EN EXERCICE

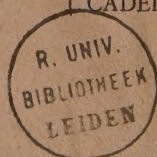
MM.
Médecine P. RIMBAUD.
— BOUCOMONT.
— BERT.
— LAFON, ch. d'agr.
Chimie MONNIER.
Bactériologie CARRERE.
Histoire nat. médicale HARANT.

MM.
Chirurgie MOURGUE
— MOLINES.
— GUIBAL.
— ROUX.
Urologie TRUC.
Accouchements CADERAS
— de KERLEAU.

EXAMINATEURS DE LA THESE

HÉDON, professeur, président
LAMARQUE, professeur

MONNIER, agrégé
CADERAS DE KERLEAU, agrégé



A LA MEMOIRE DE MA MERE ET DE MON PERE

que j'ai, hélas! trop peu connus.

A MA GRAND'MÈRE

A MON ONCLE — A MA TANTE

Je leur dois tout.

*Ce travail sera un bien faible
témoignage de ma reconnaissance
et de mon affection.*

A MA FEMME

en gage de mon amour.

A MA FILLE

A TOUS MES PARENTS

AU MEDECIN AUXILIAIRE PIERRE DUBOURG

Mort au champ d'honneur.

A MES CAMARADES DE L'EQUIPE DE RUGBY
DE L'ECOLE DE SANTE NAVALE

*Champion de France de la
marine.*

*Champion de France universi-
taire, 1942.*

A MES AMIS

A MES CAMARADES DE L'ECOLE PRINCIPALE
DU SERVICE DE SANTE DE LA MARINE
ET DES TROUPES COLONIALES

A MES PROFESSEURS
DE L'ECOLE ANNEXE DE TOULOUSE
ET DE L'ECOLE DE SANTE NAVALE

A MES MAITRES
DE LA FACULTE ET DES HOPITAUX
DE BORDEAUX, 1937-1939

A MES MAITRES
DE LA FACULTE ET DES HOPITAUX
DE MONTPELLIER, 1940-1942

A MON JURY DE THESE

A MONSIEUR LE MEDECIN GENERAL SOLCARD

*Directeur de l'Ecole principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes coloniales*

Associé national de l'Académie de Chirurgie

Officier de la Légion d'honneur

Croix de Guerre

A MONSIEUR LE MEDECIN EN CHEF VARACHE

*Sous-Directeur de l'Ecole principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes coloniales*

Officier de la Légion d'honneur

Médaille Militaire

Croix de Guerre

A MON PRESIDENT DE THESE
MONSIEUR LE PROFESSEUR LOUIS HEDON

*Professeur de Physiologie
Chevalier de la Légion d'honneur
Croix de Guerre*

*qui m'a fait le grand honneur
de m'inspirer cette thèse et d'en
accepter la présidence.*

*Qu'il veuille trouver ici l'assu-
rance de notre profonde recon-
naissance pour l'aide bienveil-
lante qu'il nous a apportée.*

Introduction

S'il est un problème complexe, c'est bien celui de la fatigue. De tous temps, son étude a retenu l'attention des physiologistes. Les auteurs anciens, considérant la fatigue, ainsi que la douleur et la faim, comme une sensation simple, primitive, sur laquelle se règle la vie animale, n'ont guère étudié que ses manifestations subjectives.

Mais, dès le milieu du ^{xix}^e siècle, la méthode expérimentale, en plein essor, s'est attachée à définir les phénomènes objectifs et mesurables, par lesquels se traduit la fatigue, et, dès lors, il n'est que de citer quelques noms pour voir que les plus éminents physiologistes : Ludwig, Marey, Kronecker, Mosso, Richet et beaucoup d'autres ont apporté leur contribution à l'étude des facteurs musculaires et nerveux qui sont en cause, ainsi qu'à leur retentissement général sur l'organisme. Activement poursuivies jusqu'à nos jours, les recherches expérimentales sont encore loin d'avoir entièrement éclairé le mécanisme intime de la fatigue qui reste encore très imparfaitement connu.

La difficulté du problème tient à la multiplicité et à la diversité des phénomènes qui entrent en jeu dans la production du syndrome. Tous les organes, tous les

tissus, sont soumis à la fatigue, conséquence inévitable de leur fonctionnement; et les perturbations du métabolisme qui en résultent ont un retentissement général dont l'analyse nécessite des méthodes d'une extraordinaire variété: chimistes, physiciens, physiologistes, cliniciens et psychologues concourent, par leurs travaux, aux progrès de nos connaissances, et il n'est pas inutile de tâcher, de temps à autre, de coordonner les résultats qu'ils obtiennent.

Plus que jamais, en effet, la question de la fatigue est à l'ordre du jour, en raison de l'essor industriel et du renouveau de faveur des exercices athlétiques.

Il ne peut être question, dans notre modeste travail, d'une mise au point complète, qui exigerait une très volumineuse monographie, et qui ferait d'ailleurs double emploi avec diverses revues générales. Pour ne citer que les plus classiques, l'article « Fatigue », rédigé par Ioteyko, dans le *Dictionnaire de physiologie* de Ch. Richet, et le chapitre plus récent, consacré au même sujet, par Chailley-Bert, dans le *Traité de Physiologie normale et pathologique*, représentent la somme des principaux faits établis jusqu'à 1929.

Nous nous bornerons à une simple mise au point d'un certain nombre de détails de la question, basée sur des publications récentes d'auteurs, étrangers le plus souvent, parues dans les périodiques spéciaux, tels que *Le Travail humain* et *Arbeitsphysiologie*. Ces périodiques, créés depuis quelques années, contiennent pratiquement tous les mémoires scientifiques relatifs au problème qui nous occupe. Notre but est donc de mettre à leur place, dans le cadre général de nos connaissances sur la fatigue, quelques notions nouvelles qui nous ont paru avoir

une certaine importance pour éclairer certains points obscurs ou controversés.

Nous envisagerons successivement le *problème de la fatigue* en lui-même, notamment ses causes et ses conséquences; puis les *tests*, permettant de déceler et d'apprécier cette fatigue, et, enfin, le côté *clinique* de la question: les diverses formes de la fatigue.



CHAPITRE PREMIER

Les manifestations de la fatigue

DÉFINITION ET GÉNÉRALITÉS

Nombreux sont les auteurs qui ont donné une définition de la fatigue. Littré dit qu'elle est « le sentiment douloureux, avec difficulté d'agir, que cause un travail excessif ou trop prolongé ». Ioteyko assimile la fatigue à une paralysie particulière, due à un excès d'excitation.

C'est Lagrange qui donne, de la fatigue chez les êtres supérieurs, la définition la plus complète, devenue classique : « *La fatigue, chez l'homme sain et normal, est une diminution du pouvoir fonctionnel des organes, provoquée par un excès de travail et accompagnée d'une sensation caractérisée de malaise* ».

Dans l'exercice musculaire, ce malaise peut aller depuis la simple lassitude jusqu'au sentiment d'épuisement complet et s'accompagner de troubles généraux. La diminution du pouvoir fonctionnel va parfois jusqu'à la paralysie (cerf forcé).

La fatigue est un phénomène général de défense commun à tous les êtres vivants, et dont l'action se fait

sentir sur tous les tissus ; se traduisant par une modification essentielle des propriétés de ces tissus, par une *diminution de l'énergie spécifique* et des modifications des manifestations vitales secondaires qui l'accompagnent.

Tous les tissus sont donc fatigables, mais à des degrés infiniment variables, et, de même, il y a une grande marge de relativité entre la grandeur d'un travail musculaire et la fatigue qui en résulte, chez différents individus.

Tous les organes sont sensibles à la fatigue, un œil frappé par une lumière trop intense perd sa sensibilité rétinienne pendant un certain temps, on parle de bruits assourdissants ; mais de tous ces organes le muscle est sinon le plus fatigable, du moins celui dont on connaît le mieux la fatigue, car c'est lui qui est le plus souvent sollicité.

C'est, avant tout, sur la fatigue musculaire proprement dite que nous nous étendrons ; nous étudierons ensuite plus brièvement la fatigue nerveuse dans ses rapports avec la fatigue musculaire, et, enfin, le retentissement de cette dernière sur les divers autres appareils de l'organisme.

I. — FATIGUE MUSCULAIRE PROPREMENT DITE

Plusieurs moyens d'étude ont été employés dans les recherches sur la fatigue, et nous avons à considérer deux grands groupes d'expériences : les expériences sur le muscle isolé, les expériences sur le muscle en place.

1) *Etude de la fatigue sur le muscle isolé*

La préparation neuro-musculaire classique est : un muscle gastrocnémien de grenouille muni de son nerf. Ce muscle est attelé à un myographe de Marey. Si on provoque sur ce muscle des secousses par des chocs électriques d'induction égaux et cadencés, on inscrit une courbe de fatigue.

Comme le montrent les tracés de Marey, de Waller, de Richet, on observe une série de modifications qui portent sur toutes les parties du cycle fonctionnel déformant les divers éléments de la secousse : hauteur, amplitude, durée, temps de latence, phase descendante et ascendante, vitesse de propagation. Ces modifications portent surtout sur l'amplitude et la durée de la secousse. L'amplitude qui augmente parfois aux premières excitations, diminue ensuite rapidement et progressivement pour devenir nulle. La durée augmente très tôt et peu à peu, jusqu'à être quatre ou cinq fois plus longue que celle du début.

Siège de la fatigue. — Il est difficile de donner de la fatigue une localisation élective, elle porte sur l'ensemble du système, mais avec prédominance certainement au point même d'excitation du muscle par les plaques motrices (synapse) ; mais le tissu musculaire lui-même siège de tant de modifications, joue un rôle essentiel.

Théories de la fatigue. — Nous n'en dirons ici que quelques mots, pour indiquer la variété des opinions émises, nous réservant de revenir, de façon plus complète, à la fin de ce chapitre, dans un paragraphe spécial, sur les causes de la fatigue. Il sera utile, en effet,

de discuter la valeur des nombreux travaux qui se proposent d'expliquer par l'action de métabolites spéciaux tous les phénomènes de la fatigue.

Plusieurs théories sont en présence :

Théorie de l'accumulation de substances de fatigue ;

Théorie de l'épuisement des substances actives ;

Théorie de modifications de l'état physico-chimique ;

Théorie des troubles du mécanisme régulateur et coordinateur.

Restauration. — Si, dans l'expérience sur le muscle gastrocnémien de grenouille, on prend soin d'espacer suffisamment les chocs électriques, on n'obtient pas de « courbe de fatigue ». Ceci est dû au fait que pendant l'intervalle entre les excitations, le muscle a eu le temps de récupérer sa capacité de contraction, les traces de fatigue ont eu le temps de disparaître pendant ce court espace de temps. Un muscle ainsi excité peut continuer à se contracter pendant un temps très long, sans présenter aucune modification de la secousse. La rapidité de ce processus de restauration joue un grand rôle dans la fatigue apparente. Ainsi, le muscle cardiaque paraît infatigable, car son ventricule, par exemple, travaille au cours d'une contraction $3/10^e$ de seconde pour se reposer $5/10^e$ de seconde, qui lui suffisent pour récupérer entièrement son énergie.

2) *Etude de la fatigue sur le muscle en place*

Mosso, un des premiers, a effectué des recherches directement sur l'homme. Pour cela, il imagina un appareil, l'« ergographe », dont le but est d'enregistrer le

travail effectué par *un seul muscle*, qui ne puisse être suppléé lorsque la fatigue commence à se faire sentir. L'« ergogramme » ainsi obtenu présente chez un même sujet des formes très différentes, suivant le rythme auquel les soulèvements sont effectués.

Si ceux-ci se succèdent à des intervalles très grands, la fatigue produite par une contraction peut être complètement réparée avant la contraction suivante; dès lors, chaque contraction a la même amplitude que la précédente, de sorte qu'à ce rythme on peut obtenir toute une série de contractions sans que la fatigue apparaisse. On peut arriver à une fréquence limite telle que l'intervalle soit juste suffisant pour que l'amplitude des soulèvements reste constante. Si on augmente cette fréquence, la fatigue apparaît et se manifeste par une diminution de la hauteur des soulèvements, différente suivant les sujets et la fréquence. Parfois, la diminution aboutit à l'épuisement complet, c'est-à-dire que le sujet ne parvient plus à réaliser les soulèvements au rythme imposé.

Mosso a été frappé par le fait que chaque sujet a une courbe de fatigue caractéristique, et ceci à plusieurs années d'intervalle, pourvu que les conditions soient semblables : même rythme et même poids à soulever. Ces deux facteurs, le deuxième surtout, ont une grande influence sur la forme de la courbe et la quantité de travail fourni; en les faisant varier, on obtient des conditions optima pour lesquelles le travail est maximum et la fatigue plus longue à venir.

Mosso a montré qu'après avoir épuisé un muscle, à la suite d'un certain temps de repos, on peut recommencer l'expérience et avoir une courbe identique à la précé-

dente; il faut, cependant, pour cela, avoir attendu un temps assez long, suffisant à la réparation complète, pour ne pas avoir addition de fatigue.

Au cours d'expériences, dans lesquelles le sujet n'exécute pas constamment des contractions maximales, Chailley-Bert a remarqué un phénomène intéressant que l'on retrouve en étudiant la fatigue générale de l'organisme. Le sujet accuse d'abord une fatigue considérable, et même parfois une certaine douleur; les contractions diminuent de hauteur. Puis, s'il persiste, il se fait une sorte d'adaptation, la hauteur de la contraction augmente progressivement, puis se maintient égale pendant un temps assez long et enfin il se produit une chute irrémédiable traduisant l'épuisement du muscle. Pour que cette stabilisation se produise, la fréquence des soulèvements ne doit pas dépasser une certaine valeur, sans quoi, l'épuisement arrive vite. On peut constater ce phénomène au cours de n'importe quel travail, et nous l'avons fait personnellement, soit au cours de courses de demi-fond, soit pendant des matches de rugby, au cours desquels, après un certain temps de jeu, on éprouve une certaine fatigue ou un essoufflement qui diminuent et disparaissent ensuite plus ou moins rapidement. Nous avons remarqué que ce phénomène était d'autant plus précoce et d'autant plus marqué que l'entraînement était moins poussé. Chailley-Bert explique ce fait par une adaptation de la tension artérielle et de la ventilation pulmonaire. Ce phénomène « Second-Wind » des Anglais, a été étudié en France par J.-P. Langlois, Chailley-Bert et Faillie, qui l'appellent, de façon similaire, « second souffle ». C'est précisément sur la rapidité de cette adaptation que porte l'entraînement sportif.

Il semble qu'il y ait une dépense considérable pour la mise en train du travail musculaire, et qu'une fois le rythme établi les phénomènes de fatigue s'amendent. D'où la nécessité d'une *mise en train lente et progressive dans les séances d'éducation physique, surtout chez les sujets non entraînés.*

Schweitzer, Lauzier et Vahl ont montré que ce travail ergographique peut être augmenté si on remplace le rythme uniforme par un rythme bi ou trigéminé, le nombre des soulèvements par unité de temps restant invariable. Les différences ainsi obtenues ne sont pas fortuites mais très grandes et systématiques. Ce phénomène n'a lieu que pour certaines conditions, ce qui amène à se demander si le rôle décisif n'appartient pas à la valeur de l'intervalle de repos, ce rôle étant indépendant, dans une certaine mesure, du nombre des soulèvements faits à la suite.

GÉNÉRALISATION DE LA FATIGUE

Mayor a montré que lorsqu'une fatigue n'est pas produite par un excès momentané de travail localisé, elle s'étend uniformément à tout l'appareil musculaire. Maggiora a montré, à son tour, qu'une longue promenade, à vitesse modérée, a une influence considérable sur les muscles fléchisseurs des doigts.

P. Spielberg a étudié attentivement l'influence de la fatigue sur la marche, montrant cette généralisation. Ses recherches ont porté sur trois sujets de condition et de complexion différentes : deux porteurs de briques,

ayant vingt ans et huit ans de métier; et un étudiant sportif. Il a fait une étude cinématographique de la marche à l'état de fatigue ou non, les sujets étant chargés ou non, et pour différentes cadences.

Pour le même sujet, dans les mêmes conditions de charge et de cadence, on constate :

a) La courbe décrite par l'articulation tibio-tarsienne pendant l'oscillation du membre inférieur s'aplatit. L'homme fatigué « traîne la jambe » ;

b) L'amplitude des oscillations du centre de gravité de la tête, de la cuisse, et d'autres points du corps, est diminuée dans la forte fatigue ; les courbes s'aplatissent, ce qui fait que l'homme paraît « se traîner péniblement sur le sol » ;

c) La longueur du pas diminue sous l'influence de la fatigue ;

d) L'articulation du genou, au lieu de rester, pendant la phase d'appui, à peu près à la même hauteur (comme c'est le cas chez l'homme non fatigué), s'abaisse comme si le genou fléchissait sous la charge ou sous le poids du corps.

Ces faits montrent l'entrée en jeu, au cours de la fatigue, de toute une série de mouvements nouveaux compensateurs : participation de nouveaux muscles (que l'ergographe de Mosso s'efforce de supprimer), diminution de la longueur du pas, glissement de la jambe, courbure du corps, abaissement de la position du centre de gravité du corps, etc.). Mais le mécanisme régulateur de la marche reste bon, car toutes ces manifestations se produisent identiques à chaque pas.

Tout ceci s'applique au travail dynamique, mais les mêmes phénomènes se produisent dans le *travail sta-*

tique, et la fatigue apparaît de la même manière, ayant les mêmes conséquences.

Repos. — Si on attend un temps assez long après avoir épuisé un muscle, on obtient une nouvelle courbe de fatigue identique à la précédente; il faut, pour cela, que le temps ait suffi à la restauration du muscle. Pour obtenir cette restauration, il suffit d'attendre un certain temps en laissant le muscle au repos complet; mais un certain nombre de facteurs sont capables d'influencer la vitesse de récupération: durée des pauses, massage, mouvements, circulation.

a) *Influence du nombre et de la durée des pauses*

Müller, étudiant la fatigue et le travail statique, fait opérer un travail de soutien de 20, 40 et 60 kg-minute, à exécuter en huit minutes, avec combinaisons diverses de poids à soutenir, de longueur et de nombre des pauses, de manière à voir quelle est la combinaison qui fatigue le moins. Il a trouvé que:

Le nombre des pauses n'influence pas la fatigue si leur durée totale reste la même.

Il y a un optimum pour la durée totale des pauses; il se trouve entre une et deux minutes, soit un quart de la durée totale de l'épreuve. L'optimum est plus marqué pour un fort travail de soutien que pour un faible.

b) *Influence du massage*

Maggiore a montré que si un muscle travaille avec un repos de quinze minutes, il perd rapidement sa résistance au travail. Si on remplace ces périodes de repos

par des séances de massage de même durée, le muscle conserve, au contraire, sa résistance, pendant un certain temps du moins. Maggiora a pu obtenir ainsi huit courbes successives normales. Il a même constaté qu'alors même qu'on n'a pas fatigué le muscle auparavant, le massage augmente son énergie.

c). *Influence du mouvement*

Marschak (de Moscou) a étudié cette question de la « restauration active » à la suite d'un travail de soutien, enregistré à l'ergographe type Mosso, et repris après des pauses, pendant lesquelles le sujet s'est reposé dans l'immobilité, ou a effectué des mouvements, soit de la main opposée, soit de la main qui vient de travailler, soit d'autres parties du corps. Il a conclu que :

La restauration active après un *travail statique* préalable augmente la capacité du travail du sujet. Cet effet peut être obtenu par des mouvements rythmiques de parties du corps ayant travaillées ou non.

Après un *travail statique involontaire* (provoqué par une excitation électrique) la restauration active augmente la capacité de travail, que celui-ci soit ensuite volontaire ou provoqué par excitations électriques.

Ces mêmes résultats sont obtenus après un *travail dynamique volontaire*.

On n'obtient aucun effet si les mouvements de restauration active sont artificiellement provoqués; il faut qu'ils soient *volontaires* pour améliorer la capacité de travail.

Si les mouvements pendant la restauration active sont forts et fréquents, ils n'améliorent pas la capacité de travail, mais, au contraire, l'abaissent souvent; à plus forte raison lorsque ces mouvements consistent en exercices violents. Inversement, les exercices libres, légers, ont un effet favorable.

d) *Influence de la circulation*

L'anémie progressive d'un muscle accélère l'apparition et le développement de la fatigue, mais lorsque cesse cette anémie, le muscle réacquiert son énergie plus rapidement qu'il ne l'a perdue en accomplissant le même travail.

Zurawlew et Feldmann ont fait dans ce sens des expériences en utilisant un ergographe type Mosso et aussi un ergographe à air de Danilewski, en étudiant des contractions volontaires et des contractions provoquées par excitation électrique. Ils interrompent la circulation par un brassard pneumatique. Ils ont remarqué que :

Pour excitation électrique, une pause de une minute, sans circulation, ne permet aucune restauration.

De même pour les contractions volontaires.

3. — CONSÉQUENCES DE LA FATIGUE MUSCULAIRE

Nous avons à considérer non seulement les conséquences de la fatigue sur le muscle lui-même, sur ses propriétés et son travail, mais encore les conséquences générales sur l'individu tout entier.

Thermogénèse. — Les travaux de Heidenhaim, et plus récemment de Hill et Meyerhof, ont montré que la fatigue diminue la quantité de chaleur produite par le muscle, ainsi que son travail mécanique. La chaleur produite diminue plus tôt et plus vite que le travail.

Elasticité. — Weber, puis Boudet (de Paris), ont montré que l'élasticité musculaire était diminuée par la fatigue, ce qui a un grand retentissement sur les modifications de la contractilité. L'allongement produit par une charge est plus important sur un muscle fatigué que sur ce même muscle avant le travail.

Tonicité. — Elle est aussi diminuée. Après une excitation jusqu'à épuisement d'une sciatique de grenouille, la patte intéressée pend plus droit que l'autre; d'autre part, un poids moindre est suffisant pour arriver à la rupture de cette patte. La fatigue a donc atteint aussi la cohésion intime du muscle.

Electrogénèse. — L'intensité des courants d'action du muscle étant proportionnelle à la grandeur et à la force de la contraction, diminue avec la fatigue, mais moins vite que l'amplitude de la contraction elle-même (Morat-Forbès).

Chronaxie. — Après Lapicque et Bourguignon, Latmanisowa, Schamarina et Ufland, de Léninegrad, ont étudié les variations de la chronaxie du muscle par le travail. A la suite de leurs travaux, ils ont établi que :

La chronaxie du muscle *augmente* sous l'influence du travail.

Plus la *charge* à soulever est forte, plus la chronaxie du muscle augmente.

La *durée* du travail, dans les limites de deux à douze minutes, a moins d'influence que la valeur de la charge.

Pour le travail dynamique, la durée du travail a cependant encore une influence assez grande, tandis que pour le travail statique cette influence n'est pas importante.

Après la fin du travail, la chronaxie atteint sa plus grande augmentation rapidement, cependant pas aussitôt après la cessation des contractions musculaires mais après un certain laps de temps.

Pour des excitations électriques, les contractions provoquées montrent une plus forte diminution d'excitabilité que pour les contractions volontaires.

L'allongement de la chronaxie ne s'observe pas seulement *après* le travail, mais aussi *pendant*, et encore plus nettement pour le travail statique.

Laugier et Liberson ont étudié les variations de la *chronaxie des antagonistes* dans la fatigue due à un mouvement volontaire. Ils ont constaté qu'au cours de la fatigue et de la réparation d'un mouvement au cours duquel les fléchisseurs sont actifs (agonistes), la chronaxie des extenseurs (antagonistes) subit un certain nombre de variation, dont l'évolution est assez différente, suivant qu'il s'agit d'un épuisement rapide par travail intense, ou d'un épuisement lent.

Au cours d'un *travail intense*:

3' après la cessation du travail une diminution initiale à 75 %.

15' après la cessation du travail une augmentation à 120 %.

24' après la cessation du travail, retour à la normale.

Après un travail *peu intense* on n'a pas de diminution initiale.

Au bout de 3' — augmentation à 114 %.

Au bout de 15' — augmentation à 136 %.

Au bout de 24' — retour à 119 %.

Il est vraisemblable que les variations de la chronaxie des antagonistes jouent un rôle dans l'ensemble des facteurs qui régissent le travail d'un agoniste au cours d'une fatigue progressive. Et ainsi les variations contemporaines de la chronaxie, sur les agonistes et les antagonistes, doivent intervenir comme élément d'explication dans les modifications de la forme et de la coordination des mouvements au cours de la fatigue.

Ufland et Wuhl ont porté leur attention sur les modifications de la *chronaxie sensitive* au cours de la fatigue. Ils mesurent cette chronaxie sensitive par application d'une large électrode indifférente, et d'une électrode punctiforme sur la surface de la peau dans le territoire du nerf cubital à l'avant-bras. Le sujet effectue un travail de flexion de l'avant-bras sur le bras au rythme de 36 par minute avec un poids de 3 kg. 500, et un travail statique par maintien du même poids à la même hauteur l'avant-bras fléchi à 90 degrés. Ils ont constaté que :

La chronaxie sensitive s'allonge (de même que la chronaxie motrice), surtout *après* le travail. Le maximum d'allongement ne se produit pas immédiatement après le travail, mais le plus souvent 5 minutes, quelquefois 20 à 25 minutes après seulement. Il est de 50 à 100 %.

Pendant le travail statique, la chronaxie se modifie, elle s'allonge d'abord, puis, avec l'apparition de la fatigue, elle diminue, pour s'allonger à nouveau après le travail.

Il y a également allongement de la chronaxie dans le membre symétrique qui ne travaille pas, mais la modification n'est pas aussi importante.

En résumé, nous voyons que, soit que nous considérons la chronaxie des muscles agonistes ou antagonis-

tes, soit la chronaxie sensitive, au cours ou après un travail dynamique ou statique, *nous nous trouvons toujours en présence d'un allongement de la chronaxie.*

RENDEMENT

Maggiora et Mosso ont montré que le travail accompli par un muscle fatigué lui est beaucoup plus nuisible qu'un travail plus considérable accompli hors de cet état. Si on enregistre des ergogrammes successifs, sans attendre entre chacun un temps assez long permettant la restauration, on voit que la quantité de travail diminue, mais aussi que la forme de la courbe varie : d'abord parabolique, elle passe par la ligne droite pour devenir hyperbolique (Dodel). Après entraînement on voit que dans les mêmes conditions la forme de la courbe ne varie pas, mais que le travail diminue. C'est ce que Lehman a appelé la « *fatigue remanente* ».

Simonson, étudiant la question de l'influence de la durée du travail sur le rendement, constate une augmentation du rendement pendant les toutes premières phases d'un travail de courte durée et assez localisé (élévation à bras tendu d'haltères de 2 à 6 kg., pendant des durées de 1/2 minute et de 7 minutes, avec rythme différent suivant les expériences). Dans un travail de ce genre, l'augmentation de rendement est considérable, quatre à cinq fois pour les faibles charges (2 kg.), ce qui montre qu'*au début d'un travail de faible intensité le rendement est particulièrement mauvais.*

Irvin Fischer fait des expériences sur le travail effectué avec un ergographe pour le bras (flexion de l'avant-

bras) dans des conditions choisies pour obtenir assez rapidement la fatigue. Il constate que :

le rendement à l'état *non fatigué* dépend seulement de la *longueur du temps de contraction*, et il est *indépendant de la longueur de la pause* entre deux contractions.

La fatigue appréciée par la diminution du travail effectué est pratiquement peu dépendante du temps de contraction, mais elle dépend, à un très haut degré, de la *longueur des pauses*. La diminution du rendement au cours du développement de la fatigue est influencée par la longueur des pauses.

Dans la pratique, pour obtenir le maximum de rendement, il y a intérêt à *rester au-dessous de la vitesse du travail qui donne l'optimum énergétique, de manière à bénéficier du temps de pause le plus long possible*. Jamais le temps de contraction donnant l'optimum énergétique ne doit être dépassé.

Au cours de la fatigue, la diminution des hauteurs de soulèvement à l'ergographe marche de pair avec l'augmentation de dépense d'énergie par unité de travail effectué. Il en résulte que la dépense d'énergie « par mouvement » reste constante.

Nous voyons, en résumé, qu'avec la fatigue le rendement diminue. Pour améliorer celui-ci, il vaudra mieux faire de longues pauses, permettant une récupération complète et supprimant la fatigue, que des pauses plus brèves augmentant la durée du travail mais aussi la fatigue.

Dans sa thèse, sur *l'Influence de la fatigue sur le rendement du travail musculaire*, Grech conclut qu'« il semble que la fatigue n'abaisse pas le rendement du

muscle, et que celui-ci continue à fonctionner grâce aux mêmes processus chimiques fondamentaux. Ce qui est modifié par la fatigue, c'est *le rendement de l'ensemble de l'organisme* ».

Résistances aux maladies. — La fatigue musculaire diminue la résistance et est un facteur prédisposant aux maladies infectieuses, surtout aux pneumopathies.

Anna B. Baetjer a expérimentalement étudié ce fait, en fatiguant des chiens par une longue course dans une roue, et en leur inoculant divers germes. Elle a constaté que cette inoculation entraînait bien plus souvent la mort chez les chiens fatigués que chez les autres, et surtout beaucoup plus rapidement. Cette mort était plus précoce en fatiguant le chien après l'inoculation qu'avant.

Bailey est arrivé exactement aux mêmes résultats en opérant sur des lapins, auxquels il faisait une injection trachéale de pneumocoques I. Il semble que les mêmes effets soient produits chez l'homme.

Cowles écrit que la fatigue, due à un exercice violent, comme le rowing ou la course en compétition, après une bénigne infection pulmonaire, est une source de pneumonie.

Vernon rapporte qu'il y a un parallélisme parfait entre le pourcentage de temps perdu pour cause de maladie et le nombre d'heures de travail; Colles fait remarquer que la fatigue provoquée par le labeur industriel est un facteur important de la mortalité élevée de la tuberculose, plus importante dans les régions industrielles que dans les campagnes, et plus élevée aussi chez les hommes que chez les femmes qui font un travail moins fatigant.

Fickér a constaté qu'à la suite d'un travail intense, la perméabilité des muqueuses aux micro-organismes, particulièrement de la muqueuse intestinale, était augmentée.

Tous les facteurs qui jouent normalement un rôle dans le processus de défense de l'organisme semblent être modifiés par la fatigue: diminution des antitoxines (Zlatogoroff, Kostereff), des agglutinines (Lara, Tromsdorff), des hémolysines (Tromsdorff), de l'aleine (Dobrowolny), des opsonines (Abbot-Di Macco). Tromsdorff et Ranzani ont prétendu qu'elle diminuait aussi le pouvoir microbicide des phagocytes.

Certains ont attribué cette hyporésistance à une augmentation de l'acide lactique dans les humeurs, et Arloing et Cornevin ont montré qu'une injection d'acide lactique favoriserait le développement de l'anthrax.

Si donc on ne peut en préciser les causes avec certitude, il ne fait pas de doute que par son retentissement sur l'organisme, la fatigue place celui-ci dans des conditions défavorables de résistance aux infections.

RÉSISTANCE AUX CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

Normalement, l'individu au repos s'adapte assez bien aux diverses conditions atmosphériques; il semble qu'il n'en est pas de même lorsqu'il travaille assez intensément pour se fatiguer.

Froid. — Giaja fait une série d'expériences sur des rats qu'il fait travailler à des températures diverses, en les faisant courir dans une roue; puis les compare à des rats au repos, à une même température.

A 2° (après 1 heure 10) : le rat qui travaille se refroidit (37°2 à 34°) ; le rat au repos maintient sa température.

A 20° : le rat qui travaille augmente sa température (36°8-38°9) ; le rat au repos conserve sa température.

A 7° : le rat qui travaille présente au début de l'hyperthermie (37°6 à 38°2) ; à partir de l'apparition de la fatigue, abaissement de la température (38°2 à 36°).

En résumé, les rats fatigués par la locomotion forcée se montrent moins résistants envers le froid, leur *puissance thermo-génétique est fortement diminuée*.

A une température basse (2°), à laquelle le rat au repos maintient sa température normale, le rat qui travaille se refroidit. La chaleur produite par l'exercice musculaire ne peut donc compenser, dans ce cas, la chaleur de la thermorégulation chimique (chaleur complémentaire), fortement diminuée par la fatigue musculaire.

Ceci explique que, ni l'homme ni les animaux, ne cherchent pas *instinctivement* à lutter contre le froid par l'exercice musculaire, la fatigue diminuant leur résistance, mais en diminuant de différentes manières leur déperdition calorique, tout en évitant la fatigue musculaire.

Dans les ports, on obtient, par l'exercice musculaire associé au froid, en premier lieu la fatigue qui sera réparatrice dans le repos consécutif assuré dans un endroit chaud ; mais pour la lutte contre le froid, *de quelque durée*, le travail musculaire est désavantageux ; il augmente la calorification, mais la fatigue diminue la résistance au froid.

Chaleur. — Claude Bernard attribuait à la fatigue le principal rôle dans l'étiologie du coup de chaleur et écrivait: « Le coup de chaleur est une intoxication de fatigue ».

Lavéran et Régnard soumirent à des températures progressivement croissantes des animaux dont les uns étaient au repos tandis que les autres étaient assujétis à un travail fatigant. Ils constatèrent que le chien qui travaillait était bien plus rapidement atteint d'accidents graves ou même mortels que le chien au repos.

Dans les troupes en marche, c'est le plus souvent le fantassin qui est atteint.

Recurt conclut que la fatigue favorise la provocation du coup de chaleur. Si celui-ci peut s'observer chez des individus au repos, il faut que la température soit très élevée; tandis que par l'actio adjuvante de la fatigue, le coup de chaleur peut se produire à une température extérieure de 25°, c'est-à-dire dans des conditions où il semblerait, *a priori* qu'on ne doive pas l'observer, cette température étant de beaucoup inférieure à la température du corps.

II. — FATIGUE NERVEUSE

Il est difficile d'apprécier avec précision la part qui revient respectivement à la musculature et au système nerveux dans l'ensemble des manifestations de la fatigue. A coup sûr, celle du système nerveux est loin d'être négligeable.

Si le nerf n'est pas absolument infatigable, sa fatigabilité est très faible. Par contre, les centres nerveux et particulièrement les centres moteurs se fatiguent très rapidement.

Mosso et Maggiora ont montré que la fatigue des centres nerveux a une influence considérable sur la forme de la courbe de fatigue et que la diminution du travail n'est pas due uniquement à un épuisement du muscle.

L'exercice musculaire doit une part très importante de la fatigue qu'il cause à l'intervention qu'il requiert du système nerveux pour assurer aux mouvements la *rapidité*, la *coordination*, l'*équibration* qu'exige leur exécution.

La fatigue affecte surtout la *coordination motrice*, sous la dépendance directe des centres nerveux; c'est donc leur fatigue qui en est cause. Certaines occupations manuelles de précision, au cours desquelles les efforts musculaires sont très restreints, mais qui réclament une forte et continuelle tension d'esprit, entraînent une fatigue importante et s'exécutent de moins en moins bien.

Boigey a montré qu'à la suite de divers exercices il y a persistance plus ou moins grande d'indices de fatigue nerveuse: allongement du temps de réaction, diminution du sens de l'attitude, diminution de la notion de force (évaluation d'un poids).

On voit donc que l'exercice physique intensif diminue la capacité fonctionnelle, non seulement des muscles mais encore des centres nerveux, en tant qu'ils commandent et coordonnent leur mise en jeu. Mais il est difficile de préciser ici la part qui revient au propre travail de ces centres, à leurs modifications physico-chimiques inti-

mes, ces mêmes modifications provoquées par le muscle dans tout l'organisme et notamment dans le sang pouvant les atteindre.

Fatigue intellectuelle. — La fatigue que comporte le travail intellectuel est, elle, essentiellement nerveuse.

Si on fait effectuer à un sujet de longues séries d'opérations (Foucault), la fatigue se dénote d'abord dans l'écriture du sujet; puis les opérations mentales sont moins rapides, la vision même des chiffres est troublée. En même temps apparaît un sentiment de lassitude générale.

Mosso a montré qu'à la suite d'une grande fatigue intellectuelle, l'ergographe traduisait une diminution de la force. L'inverse se produit d'ailleurs aussi, et la fatigue musculaire diminue incontestablement notre activité intellectuelle.

Uffland et Wuhl ont montré que, comme le travail musculaire, le travail intellectuel provoquait des modifications de la chronaxie de l'appareil périphérique: un *raccourcissement* de la chronaxie du fléchisseur commun profond des doigts;

Un *allongement* de la chronaxie sensorielle;

Pas de changement de la chronaxie du nerf médian.

Si elle est essentiellement nerveuse, cette fatigue d'origine intellectuelle, ne l'est pas cependant exclusivement, car elle a une répercussion sur les fonctions d'ordre divers. Il n'y a pas de démarcation nette entre travail mental et travail musculaire, l'un accompagne toujours l'autre.

Cependant, il n'est pas douteux que le cerveau est fatiguable par lui-même. Ceci est prouvé par la *fatigabilité extrême des réflexes conditionnels* qui s'opèrent

par l'intermédiaire du cortex cérébral (Bykow). Après un travail fatigant ces réflexes peuvent complètement disparaître chez le chien ; leur restitution demande plusieurs jours.

Verworn et Wedensky ont réalisé une intéressante expérience au cours de laquelle l'excitation d'un nerf afférent engendre bientôt une fatigue de la contraction réflexe, bien que la capacité de travail du muscle soit intacte (comme le montre l'excitation du nerf moteur ou l'excitation musculaire directe). Si, au cours d'une telle fatigue réflexogène, on continue à exciter le même nerf afférent (nerf péronier) et si on excite ensuite en même temps un autre nerf afférent (nerf tibial), on obtient de nouveau une contraction réflexogène qui peut être aussi forte que dans le cas normal. On peut en conclure que le centre du nerf afférent est fatigué, ce qui diminue son action « dynamogénique » sur les centres moteurs avec lesquels il est en relation.

Emotions et fatigue. — De cette fatigue on peut rapprocher les états dépressifs que peuvent déterminer des émotions répétées, des préoccupations.

Les émotions soudaines, elles, ont deux sortes d'action bien différentes : elles provoquent, soit un état dépressif proche de l'inhibition, soit une disparition de la fatigue.

Comment se produit ce dernier phénomène ? D'après Cannon, l'émotion engendrerait une adrénalino-sécrétion. L'adrénaline sécrétée augmenterait l'action du sympathique, provoquant une amélioration de la circulation, facilitant ainsi l'élimination des métabolites accumulés, mais il se peut qu'elle agisse directement sur le muscle. En effet, Orbelli a montré que par excitation

du sympathique la capacité de travail d'un muscle fatigué augmente; il a observé également une action analogue sur le muscle intoxiqué par HCN.

ACTION DE CERTAINS MÉDICAMENTS NERVINS SUR LA FATIGUE

SCHIRLITZ a étudié l'influence de la *caféine* sur la fatigue dans une série d'expériences où il servait lui-même de sujet, étant un athlète bien entraîné. Le travail consistait à pédaler sur un cycle ergométrique jusqu'à épuisement. La résistance était choisie de manière que cet épuisement soit obtenu en 50 à 90 minutes. Toutes les expériences étaient faites à jeun. Le sujet fait des expériences avec ou sans café (400 cm³ d'infusion de café chaud sans sucre). Pour éviter toute autosuggestion, il a fait aussi des expériences après injections sous-cutanées de 15 à 20 centigrammes de caféine ou bien d'eau salée, sans qu'il sût lui-même quelle était la nature de l'injection. Il constata après l'ingestion de café ou injection de caféine, une augmentation de la capacité de travail.

En moyenne, après ingestion de café:

Durée: 67 minutes, au lieu de 59.

Kilogrammètres: 58.031 au lieu de 48.105.

Après injection de caféine:

Durée: 78 minutes, au lieu de 73.

Kilogrammètres: 74.959 au lieu de 68.024.

Légère augmentation de rendement dans les deux cas (3 à 4 %). L'auteur conclut à une action stimulante de la caféine sur la volonté et aussi à son effet sur le cœur. La fatigue psychique et celle du cœur sont retardées.

Graf fait des expériences analogues sur quatre sujets travaillant au cycloergomètre jusqu'à épuisement. Il montre que l'ingestion d'une préparation contenant du *chocolat*, de la *caféine* et de la *kola* augmente le rendement du travail de 6 à 33 %, suivant les sujets. D'après l'auteur, chaque produit pris à part produit une action analogue, mais atténuée; la *kola* serait le principe le plus actif.

Allers, au cours d'autres expériences, fait ingérer à ses sujets soit de la *kola*, soit du *bromure de sodium* et constate que les courbes de fatigue des différents individus appartiennent à deux types principaux:

a) Ceux qui sont seulement sensibles à la *fatigue vraie*, donnant des courbes qui sont améliorées nettement par la *kola*, mais non par le *bromure de sodium*;

b) Au contraire, les individus que se laissent influencer précocement par la *sensation de fatigue*, donnent de meilleures courbes sous l'influence du *bromure de sodium*, tandis que la *kola* n'a pas d'action sur eux.

D'où la conclusion que la *kola* agit sur la fatigue vraie, le *bromure de sodium* sur la sensation de fatigue.

Thiel et Essig ont étudié l'action de la *cocaïne* sur le travail musculaire. Ils expérimentent sur quatre hommes et deux femmes, entraînés aux exercices physiques, travaillant sur un cycle ergométrique, et concluent que:

La *cocaïne* n'a pas d'action notable sur la dépense de fond (métabolisme basal);

Elle provoque une importante augmentation de la capacité de travail;

Il semble aussi que la *cocaïne* amène une légère diminution de la quantité d'oxygène consommé pour un même travail, c'est-à-dire améliore légèrement le rendement.

L'augmentation de la capacité de travail reposerait, d'après eux, sur la suppression de la sensation centrale de fatigue.

En résumé: toutes ces substances actives sur le système nerveux ont une action certaine sur la fatigue, action indirecte se faisant par l'intermédiaire de ce système nerveux, montrant encore une fois l'interaction étroite neuro-musculaire dans la fatigue.

III. — RETENTISSEMENT DE LA FATIGUE SUR LES AUTRES APPAREILS

1) *Appareil circulatoire*

a) *Muscle cardiaque:* si, à l'état normal, le cœur, comme nous l'avons déjà dit, ne connaît pas la fatigue, sa phase de repos entre chaque contraction étant suffisante à la restauration complète; dans certains états pathologiques, soumettant le cœur à un travail trop intense (excitations trop fortes et trop fréquentes), la fatigue apparaît. D'ailleurs, la fatigue générale de l'organisme retentit sur le cœur comme sur les autres organes.

La traduction la plus commune de cette fatigue est la *tachycardie*, due, selon Marey, à l'abaissement de la pression sanguine.

La fatigue cardiaque, à la suite d'un travail musculaire, est due aux déchets — *métabolites*, déversés dans le sang lors de la contraction. Ces substances excitent

vraisemblablement les centres régulateurs cardiaques et ont probablement une action directe, minime peut-être, sur le muscle cardiaque.

Merklen a montré que, lors des mouvements volontaires, l'accélération cardiaque est immédiate, alors qu'avec des excitations électriques elle est tardive. Dans le premier cas, une action réflexe entre en jeu à laquelle se substitue bientôt l'action des métabolites, qui se fait seule sentir dans le deuxième cas.

Kitamara pense que la contraction musculaire produit une substance pharmaco-dynamique active: « hormone de fatigue » qui favorise l'activité cardiaque et produit la vaso-dilatation.

Le système circulatoire est mieux adapté au travail musculaire chez les sujets entraînés, le temps de circulation et l'accélération cardiaque sont moindres; le ralentissement du cœur, constaté trois minutes après la fin de l'effort, est plus précoce chez ces sujets.

b) *Tension artérielle.* — C'est surtout sur la *pression différentielle* que portent les modifications dues à la fatigue.

Au début du travail, elle est augmentée, par suite d'une élévation moindre de la minima que de la maxima. Dans une deuxième phase, maxima et minima s'abaissent la différentielle est, elle aussi, diminuée.

Lors de l'arrêt du travail, la pression différentielle redevient *supérieure* à ce qu'elle était avant le travail, la maxima remontant légèrement, la minima s'abaissant au contraire. La diminution de la différentielle indique que l'organisme fléchit; ainsi, après un travail très fatigant, au lieu de remonter elle peut diminuer encore, jusqu'à 1 ou 2 centimètres de Hg seulement, indiquant une

restauration déficiente, et le sujet présente alors souvent un état syncopal, avec tension artérielle très basse et tachycardie intense.

Dans tous les cas, 12 à 24 heures après l'effort, tout rentre dans l'ordre, mais ensuite la maxima et la minima diminuent à nouveau, la différentielle augmentant légèrement, et tout redevient normal encore au bout de trois à quatre jours. Cet abaissement de la tension artérielle explique le phénomène d'accélération cardiaque, mais il ne faut pas confondre cette tachycardie de fatigue *après* le travail, avec la tachycardie de fatigue *pendant* le travail.

Mateef a étudié un phénomène particulier: le *collapsus circulatoire en orthostatisme dans la fatigue*. Il s'agit d'un schok par effet mécanique de la pesanteur, chez l'homme, à la suite d'un travail musculaire. C'est un phénomène qui peut s'observer chez les athlètes les mieux entraînés, après une course de vitesse de 100, 200 et 400 mètres, et qu'on peut produire expérimentalement, presque à coup sûr, en faisant exécuter successivement deux à trois courses de vitesse de 100 mètres avec pauses intercalaires de 5 à 7 minutes. Il est attribuable à l'anémie des centres nerveux (Mateef et Pétroff).

Les troubles circulatoires provoqués par l'orthostatisme, chez l'homme, quand il passe de la position couchée à la position debout, sont bien connus; mais ils sont exagérés après un travail musculaire intense, au point qu'après quelques minutes de station debout, ils peuvent aboutir à un effondrement de la pression artérielle (diminution de la différentielle d'abord avec maintien de la minima puis effondrement de la minima aussi). C'est le « shok de gravitation ».

Par bandage serré des membres inférieurs, depuis les pieds jusqu'au bassin, on peut empêcher le phénomène de se produire; en enlevant ces bandages on le déclanche. La cause du phénomène est l'énorme *vaso-dilatation du réseau capillaire des muscles*.

La détermination, minute par minute, de la fréquence du pouls, des pressions maxima et minima, en position couchée et debout, avant et après le travail musculaire, est recommandée comme test de régulation de la circulation par le système nerveux végétatif.

c) *Circulation cérébrale*. — La diminution de la circulation cérébrale diminue la capacité de travail.

Horinchi fait travailler des chiens sur un tapis roulant, et mesure les échanges gazeux respiratoires après ligature des artères vertébrales et pincement gradué des carotides. Il constate qu'il y a une légère augmentation de la consommation d'oxygène pour un même travail (par rapport à l'irrigation normale). A mesure que le travail se prolonge et devient fatigant, l'accroissement des dépenses devient d'autant plus considérable que le pincement des carotides est plus accentué.

2) *Appareil respiratoire*

Schick et Grünberg ont fait une étude radiologique de la respiration au cours du travail musculaire et de la fatigue. Ils apprécient les mouvements des côtes et du diaphragme avant, pendant et après un travail consistant en l'élévation d'une jambe au rythme de 35 fois par minute pendant 2 à 4 minutes. L'observation porte sur 43 hommes cliniquement normaux, âgés de 20 à 40 ans. Ils constatent que:

La *fréquence* des mouvements respiratoires va en croissant, pendant toute la durée du travail, plus vite pendant la période où la fatigue fait son apparition. Elle décroît brusquement à la fin du travail, pour revenir rapidement à la fréquence normale;

La *profondeur* des mouvements respiratoires va en croissant au cours du travail, jusqu'au moment où la fatigue apparaît; elle diminue alors assez vite pour devenir inférieure à la normale. A la fin du travail elle augmente à nouveau brusquement et se maintient un moment au-dessus de la normale;

La *capacité pulmonaire* augmente un peu pendant le travail, mais décroît pour revenir à la normale au moment où la fatigue apparaît, puis remonte après la fin du travail.

3) *Composition du sang*

La fatigue retentit sur le sang, aussi bien sur ses caractères physiques que cytologiques et chimiques.

La *viscosité* du sang total est très augmentée, celle du plasma ne l'étant que légèrement. Il y aurait *augmentation de la teneur en hémoglobine*, du nombre et du volume des hématies. Pour certains, cette *hyperglobulie* ne se produirait que chez les sujets entraînés; il y aurait au contraire *hypoglobulie* chez les autres.

La *résistance globulaire* est généralement diminuée, d'où augmentation de l'hémolyse. Certains ont constaté la présence des réticulocytes. Il y a une *hyperleucocytose* nette; Spehl trouve chez un crossman, 24.600 globules blancs après la course, alors qu'il n'en avait que 11.200 avant le départ. On admet couramment une

augmentation de 10 à 65 pour 100, portant surtout sur les polynucléaires *neutrophiles*.

La fatigue entraîne une diminution du pouvoir de défense du sang (voir : diminution de la résistance aux maladies). L'indice phagocytaire des leucocytes surtout serait très nettement abaissé.

D'après Herasymowicz, la variation du temps de coagulation serait fonction de la durée de l'exercice. Il y aurait d'abord une diminution jusqu'à un minimum après 30 minutes de course. Après plusieurs heures, il y aurait augmentation.

La fatigue s'accompagne de *modifications des composants chimiques du sang* :

Spehl a constaté après une course de 6 à 7 kilomètres une augmentation nette du taux de *l'urée sanguine*. Pour Parturier et Tanque, cette élévation irait jusqu'à 17 centigrammes.

Le *cholestérol* augmenterait de 30 centigrammes.

L'acide urique, la *créatine* seraient légèrement augmentés.

Le *pouvoir tampon* du sang serait diminué par suite de la production des substances acides au cours du métabolisme (Rynkiveki).

Les pouvoirs amylolytique, glycolytique et protéolytique sont augmentés; les pouvoirs lipolytique et catalytique sont diminués proportionnellement à l'importance du travail fourni (Serāni).

Un point particulièrement important est celui des modifications de la *glycémie*. Après une course de 8 kilomètres, Spehl a constaté une hyperglycémie souvent notable, mais ne s'accompagnant pas de glycosurie, du moins immédiate. Il avait affaire à des sujets

bien entraînés. Cependant chez des sujets non entraînés ou si l'effort se prolonge, les réserves s'épuisent et le taux de glucose tombe quelquefois très bas. Levin et Gordon Derrick, examinant des coureurs de Marathon aux jeux olympiques de Los Angeles, constatèrent après une course de 42 km. 500, une glycémie de 0 gr. 90 chez les premiers arrivés, relativement en excellent état. D'autres coureurs n'avaient que 0 gr. 65 et même 0 gr. 45.

Schulutko a étudié la *courbe de la glycémie alimentaire* chez 27 ouvriers fondeurs effectuant un travail musculaire intense.

Il a trouvé que :

a) *Avant* le travail la courbe hyperglycémique provoquée à la suite de l'ingestion de 100 grammes de saccharose dans 200 cm³ d'eau, atteint son maximum 30 minutes après et revient à la normale en 2 heures.

b) *Après* le travail, le maximum est atteint en 30 minutes par la moitié des cas, 60 minutes dans l'autre moitié; mais, et c'est ce qui est caractéristique, il s'en faut que la glycémie soit revenue à la normale en deux heures. A ce moment la glycémie est encore surélevée de 50 pour 100 et dans quelques cas de 100 pour 100.

c) Il n'y a jamais de glycosurie avant le travail. Après le travail elle apparaît dans 25 à 30 pour 100 des cas. Il en résulte que la glycorégulation est troublée par un travail physique fatigant.

4) *Composition des urines*

Nombre de recherches à ce sujet ont été contradictoires. Les modifications principales portent sur :

a) *Caractères généraux*: Volume nettement diminué au cours d'un travail intensif, pouvant aller jusqu'à l'anurie (Hastings). *Couleur*: plus foncée. *Densité*: augmentée 1030 à 1035 (au lieu de 1015-1018).

b) *Eléments normaux*: L'acidité est augmentée. Ceci est attribué soit à l'augmentation de l'acide lactique, soit à l'augmentation des chlorures. Snapper et Grünbaum, effectuant des recherches sur des joueurs de football après une partie de 90 minutes constatent:

les jours chauds, chez 11 pour 100 des sujets, plus de 60 mgr. d'acide lactique dans l'urine sécrétée pendant la partie;

les jours froids chez 60 pour 100, plus de 60 mgr. aussi. Chez les coureurs l'acide lactique semble peu augmenté dans l'urine, mais beaucoup chez le nageur.

Les phosphates et les sulfates sont augmentés proportionnellement à la violence de l'exercice.

Pour Sabrazes et Deniges et Spehl, l'urée, l'acide urique, l'ammoniaque et les acides aminés seraient très augmentés.

E. Noris et R. S. Weiser par contre ont trouvé que la créatinine, l'azote total, l'acide urique, les phosphates et les chlorures étaient diminués. Ils attribuent la baisse du taux des chlorures à leur élimination intense par la sueur, et à leur rétention dans l'organisme en vue de maintenir un taux d'hydratation suffisant.

Pour ces auteurs alors que la créatinine, l'azote total et l'acide urique reviennent rapidement à un taux normal, il faut pour les chlorures un temps généralement assez long.

Pour Nitaesko et Gantzea la créatine apparaît

d'abord dans les urines, puis diminue à mesure qu'augmente la créatinine.

c) *Éléments anormaux*: on peut avoir une albuminurie (pour certains il s'agirait d'une alcali-albumine formée dans les muscles et excrétée par le rein), une cylindrurie, quelques éléments de l'épithélium rénal et quelquefois une légère hématurie, l'ensemble traduisant l'irritation du tissu rénal sous l'influence des toxines produites par la fatigue.

d) *Toxicité urinaire*: Sabrazes, Deniges et Tissie, à la suite d'une série d'expériences sur le coureur cycliste, ont constaté que le coefficient de toxicité urinaire s'était élevé à 2,35.

5) *Sueur*

On constate parallèlement une augmentation importante du volume de la sueur. Snapper et Grünbaum ont extrait de la sueur imprégnant le maillot d'un footballeur 468 mgr. d'acide lactique, et 846 mgr. de chlore.

On peut supposer, disent-ils, que l'excrétion totale d'acide lactique par la sueur est de 1 à 2 grammes. La teneur de la sueur en acide lactique est souvent 10 fois plus élevée que celle du sang.

6) *Fonctions du foie*

La fonction hépatique serait lésée par la fatigue. Ainsi, après un travail musculaire moyen ou intensif, on observe une certaine retention au Rose-Bengale (Stanojevitch).

Nous verrons de même qu'on a observé des nombreux cas « d'urticaire à la fatigue », conséquence probable d'un dysfonctionnement du mécanisme antitoxique du foie.

7) *Glandes endocrines*

Leur importance a été révélée par les travaux de Brown-Séquard, ceux d'Abelous et J.-P. Langlois qui ont surtout attiré l'attention sur les modifications des glandes surrénales. Dans des nombreux cas de « maladie bronzée », dont une des caractéristiques principales est l'asthénie, Addison avait déjà montré des lésions des surrénales. Par surrénalectomie, J.-P. Langlois provoque chez la grenouille une paralysie qui apparaît et se généralise d'autant plus vite que l'on fait travailler l'animal plus intensément.

Jimenez Diaz a démontré que les exercices musculaires chez les malades à insuffisance surrénale, donnent lieu à une augmentation excessive de l'acide lactique du sang, et le repos doit être chez eux plus prolongé que chez les sujets normaux. Dans tous les états d'hyperfonctionnement surrénalien le système musculaire atteint un grand développement et la manifestation la plus typique de l'adénome de l'écorce est une musculature herculéenne. D'après Abelous; les surrénales détruiraient normalement les produits toxiques élaborés par le muscle en travail. On a constaté sur l'animal normal fatigué que l'adrénaline des surrénales avait diminué de deux tiers environ et redevenait normale après un certain repos. Haskins et Durand ont montré que par la perfusion d'une solution d'adrénaline à tra-

vers un muscle en travail, on augmentait beaucoup la résistance de celui-ci à la fatigue.

Bien que moins importante, l'*hypophyse* a aussi une action certaine sur la fatigue. D'après Trerateli, ce serait une action indirecte, l'hypophyse sécrétant un produit qui entraverait l'action de l'adrénaline. Guerini a trouvé des lésions hypophysaires chez des animaux morts de fatigue. D'autre part, comme dans la maladie d'Addison, on retrouve l'asthénie chez les acromégales et les géants.

IV. — LES CAUSES DE LA FATIGUE

C'est au sujet de cette question, la plus complexe du problème, que les expériences les plus diverses ont donné les résultats les plus contradictoire. Cependant, on est arrivé, depuis surtout les travaux de Hill et Meyerhof, à avoir un certain nombre des notions précises et stables. C'est dans leur interprétation que les divers auteurs aboutissent à des théories contradictoires.

Nous supposons connus les principaux faits de caractère aujourd'hui classique, sur lesquels on peut s'appuyer pour envisager les facteurs chimiques de la fatigue.

Dans les théories anciennes sur l'origine de la fatigue, les auteurs ne faisaient intervenir que deux facteurs principaux :

l'accumulation des produits de déchet, résultant du fonctionnement de l'organe;

et l'épuisement des matériaux de réserve.

Si ces facteurs sont primordiaux, il n'est pas douteux qu'ils ne sont pas suffisants à tout expliquer des phénomènes de la fatigue. Nous devons aussi considérer, d'après Simonson :

Les modification de l'état physico-chimique et les troubles des mécanismes régulateur et coordinateur.

1) *Théorie de l'accumulation des déchets*

Mosso, Ranke, Weischar dt, injectent à des animaux normaux, non fatigués, soit du sang d'animaux préalablement fatigués, soit des extraits de muscles épuisés; ils constatent chez ces animaux des phénomènes d'intoxication représentant un état de fatigue extrême. Cependant, Frédéric S. Lee a remarqué que l'injection du suc extrait d'un muscle non fatigué provoque les mêmes phénomènes.

Une expérience plus probante est celle de Kudrjawzen, qui constate qu'une solution de Ringer qui a traversé les vaisseaux d'un muscle en train de travailler, abaisse l'excitabilité d'un deuxième muscle qu'elle perfuse. La saturation par l'oxygène du liquide de perfusion provenant du muscle fatigué diminue manifestement sa toxicité. Cette expérience prouve donc indubitablement le rôle joué par l'accumulation des déchets.

Quelle serait la nature de ces produits appelés « substances fatigantes » ?

Weischar dt (1914) a soutenu qu'il était possible d'isoler d'un extrait de muscle épuisé à l'extrême un prin-

cipe qu'il a appelé « kénotoxine », et, d'après lui, on pourrait même obtenir, par injections répétées de cette « toxine » un sérum capable d'augmenter la résistance à la fatigue des animaux auxquels on l'administre préventivement. En réalité, cet effet n'a pas été obtenu chez l'homme ni les gros animaux, et les expériences de Weischardt n'ont pas reçu par la suite de confirmation.

Cependant, il y aurait bien action d'une toxine dans la détermination de certaines formes de la fatigue, comme l'urticaire (Goltrain).

Hill et Meyerhof attribuent la fatigue musculaire à l'accumulation de l'acide lactique dans le muscle et dans l'organisme tout entier. Dans le muscle, cette accumulation aurait pour effet de diminuer l'élasticité et, partant la contractilité, en augmentant la capacité d'inhibition.

Dans l'organisme, nous avons déjà dit que, Arloing et Cornevin avaient constaté que l'augmentation du taux de l'acide lactique favorisait le développement de l'anthrax.

Cependant, les travaux récents de Simonson semblent montrer qu'en réalité cette accumulation d'acide lactique ne joue aucun rôle dans la fatigue. Embden et Jost ont constaté, en 1927, que, dans la fatigue de l'animal total, les muscles fatigués ne renfermaient pas plus d'acide lactique que ceux du côté opposé non fatigués.

D'après Jokl, la teneur en acide lactique du muscle de rat diminue nettement au cours d'un travail épuisant (de 0,1446 % à 0,0841 %). Il est intéressant de noter qu'au cours d'une fatigue complète rapide (grenouille épuisée par des sauts successifs après stimulation mécanique) l'acide lactique augmente dans les muscles, mais

reste de loin au-dessous des limites dans lesquelles la fatigue apparaît sur le muscle isolé (Simonson, Jalperin, Sirkina).

Christensen, Krogh et Lindhardt, constataient récemment, sur l'homme travaillant sur un cycle ergométrique, qu'au cours d'un travail moyen la teneur du sang en acide lactique augmente pendant les premières minutes et diminue ensuite, peu à peu, jusqu'à la normale. Au cours d'un travail intense, on retrouve l'augmentation du début puis la diminution, mais on constate, en outre, une deuxième augmentation, un peu irrégulière, et qui résulterait de l'entrée en fonction d'autres groupes musculaires frais.

Au cours d'un travail, régulièrement interrompu par des courts repos, on constate une augmentation du taux de l'acide lactique, seulement dans la première reprise du travail; elle fait défaut dans toutes les autres. (Winogradow).

Simonson conclut qu'à la suite de travaux de Lundsgraard (1930) et Embden (1932), *on ne peut plus considérer l'acide lactique* comme une « substance de fatigue ».

Il va même plus loin et cite une série d'expériences parlant contre l'accumulation de substances quelconques comme cause générale de la fatigue. Ainsi: Scheminsky fait travailler un muscle isolé en le soumettant à une excitation directe jusqu'à la fatigue; ensuite, il change la direction du courant. Immédiatement après ce changement, le muscle travaille de nouveau et sa hauteur de contraction atteint presque la valeur initiale. Ce phénomène peut être répété plusieurs fois de suite. Scheminsky et Fleischmann déterminent ensuite la

teneur en acide lactique de deux muscles, dont l'un a été excité sans changement de direction du courant, jusqu'à la fatigue complète, tandis que l'autre continue à travailler à la suite de plusieurs changements de direction du courant. La teneur en acide lactique du premier est plus basse que celle du second.

Scheminsky constate enfin qu'un muscle excité par plusieurs changements de direction de courant garde sa capacité de travail mieux et plus longtemps qu'un autre dont la série de contractions a été simplement interrompue par des pauses répétées.

D'autres expériences, portant sur l'organisme tout entier, plaident dans le même sens. Ainsi, l'inspiration d'air riche en oxygène retarde la fatigue, quoique l'accumulation des produits du métabolisme, surtout de l'acide lactique, ne soit pas empêchée.

2) *Théorie de l'épuisement des substances actives*

Même après un travail intense de longue durée, les provisions de substances énergétiques sont loin d'être épuisées. Moschini et de Nayer, par des injections quotidiennes de glucose (25 cgr.), pendant trois à quatre semaines, ont réussi à augmenter, de façon énorme, la réserve de glycogène du muscle de grenouille. En plongeant ces muscles dans une solution de Ringer et en les excitant par des chocs d'induction assez espacés, pour permettre la diffusion de l'acide lactique, ils ont remarqué qu'ils contenaient encore énormément de glycogène lors de l'arrêt par fatigue complète. Ce taux de glycogène est plus élevé en moyenne que celui des muscles frais d'animaux non préparés. Ces muscles n'ont donc

pas cessé de répondre aux inductions par manque de réserves hydrocarbonées. Les auteurs envisagent deux hypothèses :

— le glycogène encore présent après la fatigue n'est pas utilisable, soit parce que son état chimique a été modifié, soit parce que son accumulation s'est faite à un endroit d'où il est difficilement mobilisable ;

— l'arrêt se produirait pas épuisement d'une autre substance nécessaire à la contraction. Ils ont pensé au phosphagène ; mais l'addition au Ringer de phosphate et de créatine en quantité suffisante pour empêcher la diffusion de ces substances hors du muscle, ne modifie aucunement ce phénomène.

D'autre part, d'après Jokl, la teneur en phosphagène augmente dans les muscles d'animaux épuisés (de 0,0615 au repos à 0,1106 %).

En résumé, on peut donc dire que l'épuisement de substances actives ne semble pas constituer la cause générale de la fatigue, on peut le considérer plutôt comme un facteur augmentant la disposition à la fatigue.

3) *Modifications de l'état physico-chimique*

Scheminsky attribue la fatigue à une *augmentation de la perméabilité à la cathode* ; la fatigue est inhibée à la suite d'un changement de direction du courant.

Pour Deuticke, le muscle isolé fatigué (grenouille) présenterait une *diminution de la solubilité de ses protéides* (3,3 % au bout d'une demi-heure, 13,9 % au bout de 1 heure et demi, et 17,4 % au bout de 2 heures). Ceci

est mis en rapport avec la diminution de capacité de synthèse du muscle fatigué (Embden et Jost). Simonson, Jalperin et Sirkina, chez la grenouille épuisée par des sauts successifs, constatent des modifications faibles de cette solubilité sur les muscles du squelette, mais très nette sur le cœur; cependant, c'est une *augmentation* qu'ils constatent.

Des constatations contradictoires ont été faites à propos du pH. Kitahara, expérimentant sur un muscle de crapaud isolé perfusé, constate que: l'amplitude des secousses et la fatigue des muscles du squelette dépendent constamment de la valeur du pH de la solution nutritive servant à la perfusion.

L'ion Ca semble aussi jouer un certain rôle. Validow, par excitation directe d'un muscle jusqu'à épuisement, puis perfusion avec une solution de Ca à un taux élevé, constate qu'il y a rétablissement de l'amplitude des contractions qui persiste pendant un certain temps, même si on interrompt l'apport de Ca. La durée de contraction d'un muscle ainsi régénéré est plus longue que celle d'un muscle normal, à peu près la même que celle d'un muscle fatigué. Il conclut que le Ca n'agirait pas directement sur le muscle. A un taux trop élevé l'action devient dépressive.

D'après Mogenstren, la concentration en KCl jouerait également un certain rôle. La fatigue serait moindre pour une teneur en KCl de 5 mgr. % (sérum d'été) que pour une teneur de 10 mgr. % (sérum d'hiver). Heidemann a, en effet, montré que les muscles de grenouille sont moins fatigables en été qu'en hiver.

En a enfin constaté (Horn, Dill, Edwards, Talboot) des modifications de la composition ionique du liquide céphalo-rachidien.

4) *Troubles des mécanismes régulateurs et coordinateurs*

Urhomsky envisage, d'une façon générale et abstraite un trouble de l'enchaînement des processus physico-chimiques. Pour obtenir une coordination complète de ces nombreux processus qui ont leur siège dans le muscle et dans tout l'organisme, il est nécessaire que chaque réaction suivante reçoive à temps les produits terminaux d'une réaction précédente. Le travail de l'organisme total représente une intégrale de différents membres fonctionnels, des troubles d'un seul de ces membres peuvent entraîner l'incoordination du tout.

En résumé, nous voyons que si nous ne pouvons attribuer à aucun de ces facteurs la cause générale de la fatigue, chacun d'eux, cependant, joue dans l'origine de celle-ci un rôle certain.

En dépit des progrès de nos connaissances sur le métabolisme musculaire, le problème reste donc entier.

CHAPITRE II

Formes cliniques de la fatigue

Il est difficile d'établir à quel moment la fatigue devient pathologique. Nous avons dit qu'elle est un « phénomène normal de défense », mais il est incontestable qu'à partir d'un certain degré ses manifestations sont nettement pathologiques. Dans notre exposé antérieur nous avons déjà fait mention d'un certain nombre de ces cas. Ce n'est pas une étude approfondie de la pathologie de la fatigue que nous voulons faire ici, mais un examen rapide des diverses manifestations, pour nous étendre un peu plus longuement sur certaines d'entre elles, moins connues, mais qui ont cependant une grande importance en clinique.

MANIFESTATIONS MUSCULAIRES

Malgré quelques rares cas (coureur de Marathon), il est rare que soit atteinte chez l'homme l'intensité de fatigue que l'on observe chez les animaux. Cela tient au fait que si on continue un travail après le début de la

« sensation de fatigue » il se produit certaines manifestations douloureuses : « endolorissement des muscles », qui jouent le rôle de signal, et incitent le sujet à modérer ou à arrêter son exercice.

Un exercice violent peut déterminer une douleur d'un type spécial, brusque et extrêmement vive, entraînant une incapacité fonctionnelle immédiate. On l'observe notamment chez les coureurs et est vulgairement appelée « claquage ». On l'explique par des éclatements de vaisseaux, des déchirures musculaires, des arrachements ligamentaires. Tixier les rattache à une myosite toxique. On observe parfois chez les sportifs des paralysies graves et soudaines.

MANIFESTATIONS CARDIO-VASCULAIRES

Bien que ce soient les plus fréquentes, nous ne nous y attarderont guère, puisque nous avons déjà étudié le retentissement de la fatigue sur ces appareils.

Après un effort violent (course de 400 ou 800 mètres), le coureur peut tomber en syncope (rappelons ici le collapsus orthostatique déjà exposé). Au cours d'un effort on observe, plus souvent, un essoufflement progressif, grisant le sujet, « *ivresse de fatigue* » de Féré.

L'*éréthisme cardiaque* est très fréquente, et la notion de « *cœur forcé* » des sportifs est classique.

MANIFESTATIONS FÉBRILES

La forme la plus banale est la *courbature fébrile*, provoquée par un travail musculaire plus ou moins intensif, selon les sujets.

Les « *fièvres de surmenage* » sont l'exagération du phénomène précédent; elles sont dues à la production répétée pendant assez longtemps de gros efforts. Elles peuvent simuler les états typhoïdes.

Ces manifestations fébriles seraient dues à:

- l'auto-intoxication de l'organisme par les déchets;
- l'action intoxicante des bactéries pathogènes qui vivent normalement dans notre organisme.

SURMENAGE

C'est l'exagération de la fatigue. Le tableau en est donné par le cerf forcé, dont l'organisme est le siège d'une intoxication massive par l'accumulation des déchets.

Boigey considère deux formes du surmenage: le surmenage aigu et le surmenage chronique.

Le *surménage aigu* prend généralement chez l'homme l'apparence d'accidents cardiaques, dont le type est la syncope.

Le *surmenage chronique* se traduit par la prédominance des actes de désassimilation, il y a amaigrissement progressif. Il s'agit d'un abandon continu par l'organisme des matériaux utiles et de réserves néces-

saires à la vie. Il se traduit par un état de dépression d'intensité et de forme variable.

Actuellement, les cas de surmenage chronique sont très nombreux, car l'alimentation défectueuse, jointe au travail, joue un grand rôle dans son apparition.

ASTHÉNIE

D'un point de vue clinique, elle est comparable au surmenage chronique. L'asthénique est un sujet chez qui la fatigue semble permanente, ou du moins ne semble pas justifiée par le travail accompli; alors que le surmené chronique est un sujet, en général, primitivement normal, fatigué par l'exécution d'exercices successifs assez importants.

MANIFESTATIONS TOXIQUES

Nous avons vu qu'on peut les rattacher aux manifestations thermiques et au surmenage.

Mais nous étudierons ici des manifestations toxiques plus spéciales, notamment l'*hémoclasie consécutive à l'effort musculaire*.

Les produits de la fatigue prennent place dans la production des phénomènes de sensibilisation et d'intolérance, et dans les shoks qui peuvent en résulter.

Joltrain, de Gennes et O'Brien, élèves de Widal, produisent une série d'observations dans lesquelles des manifestations urticariennes semblent bien tirer leur origine du travail musculaire et de la fatigue qui en résulte, traduisant la présence dans la circulation géné-

rale d'un certain nombre de substances agissant à la manière d'antigènes.

Nous devons à notre camarade, le Docteur P. B..., de pouvoir communiquer une observation qu'il a prise sur lui-même.

OBSERVATION. — *Sans pouvoir en donner une date précise de début, ce fut dans le courant de l'année 1935, j'avais 17 ans, que je commençais à remarquer l'apparition d'une éruption prurigineuse après certains exercices physiques. Pendant toute cette année-là, ainsi que pendant l'année suivante, dès que je faisais un effort musculaire quelconque un peu prolongé, culture physique, course un peu rapide, partie de tennis, etc., et surtout dès qu'il s'y associait une transpiration un peu forte, apparaissait un urticaire formé d'éléments de dimensions variables, quelquefois assez gros, disséminés sur des plaques irrégulièrement érythémateuses; l'éruption prédominait sur les bras et les avant-bras, au niveau des faces de flexion, atteignant rarement le dos de la main, mais très souvent elle était généralisée à la poitrine, au ventre et également aux cuisses, où les éléments d'urticaire étaient très volumineux. Par le repos, cette éruption disparaissait en une demi-heure ou une heure au maximum, sans laisser de trace.*

Cet urticaire n'a jamais paru en rapport avec une ingestion alimentaire quelconque ou avec la période digestive. Par contre, une émotion un peu forte pouvait

la provoquer. Trois ou quatre fois elle s'est généralisée au visage, en provoquant une sensation de chaleur vive, une démangeaison et des larmoiements.

Traitée à différentes reprises par des cachets de peptone, une heure avant le repas, par de la Peptalmine simple et magnésinée, par auto-hémo, par l'Hypo-sulfène, l'Euphoryl, l'affection n'a jamais semblé être influencée par la thérapeutique. Elle s'est reproduite fréquemment en 1937 et en 1938, puis les manifestations s'en sont espacées et, actuellement, le fait ne se produit que très rarement et d'une façon très légère.

Une première idée est que les modifications du pH , de la réserve alcaline des humeurs, pouvaient jouer un rôle dans la production des phénomènes circulatoires et nerveux précédant l'attaque de l'urticaire, et il était naturel de penser à l'acide lactique. Les expériences des auteurs infirment ces hypothèses (cuti-réaction à l'acide lactique, introduction d'acide lactique dans l'organisme).

Il semble bien actuellement qu'il faille admettre que l'organisme, sous certaines influences, et notamment le déséquilibre endocrino-sympathique, est capable de se sensibiliser aux produits de la fatigue; si bien que leur moindre présence dans l'organisme serait susceptible de déclancher immédiatement un choc colloïdo-clasique ou ses manifestations cliniques consécutives. Ce phénomène d'« urticaire à la fatigue » est l'exemple le plus frappant d'auto-colloïdo-clasie.

CHAPITRE III

Tests d'appréciation du degré de fatigue

Il est aisé de se rendre compte de l'importance du dépistage de la fatigue. C'est surtout en physiologie industrielle que cette question a été étudiée, en vue d'obtenir un meilleur rendement de l'ouvrier.

La fatigue se présente à nous sous deux aspects : l'un, subjectif : sensation de fatigue ; l'autre, objectif : inefficacité fonctionnelle.

Le premier ne pourra guère nous fournir d'éléments stables d'une appréciation exacte de la fatigue. La sensation de fatigue est loin d'être parallèle à l'intensité de celle-ci, elle dépend non seulement de l'effort mais aussi d'autres phénomènes physiologiques et psychologiques ; elle est donc incontrôlable.

C'est donc sur facteur objectif que devront porter nos critères d'évaluation de la fatigue. Tout le problème repose sur la recherche par l'étude systématique des états physiologiques de l'organisme ou des manifestations de son activité, des signes *évidents, stables et sûrs* permettant de poser un diagnostic précoce de la fatigue. Ces tests doivent être simples, applicables facile-

ment à chaque instant, ne nécessitant qu'un appareillage élémentaire et indiquant autant que possible non seulement la quantité mais encore la qualité de la fatigue.

Dhers, dans sa thèse (Paris, 1924), a fait une étude approfondie de la question et a proposé une classification des tests généralement admise. Nous nous bornons donc à rappeler cette classification, pour étudier la valeur de quelques tests particuliers.

CLASSIFICATION DES TESTS DE FATIGUE D'APRÈS DHERS

A). — *Test de l'état physiologique*

1. — *Modification de l'état physiologique général:*

- a) Modifications chimiques des urines;
- b) Modifications chimiques du sang;
- c) Variations des excréments;
- d) Variations des échanges respiratoires;
- e) Calorimétrie;
- f) Variations du métabolisme: température, modifications du poids et de l'appétit.

2. — *Modifications des systèmes particuliers:*

- a) Phénomènes circulatoires;
 - Variations du pouls artériel, veineux, capillaire;
 - Variations de la tension artérielle;
 - Cardiographie;
 - Phénomènes vasomoteurs;
 - Répartition du sang dans les différents organes;
 - Variations du volume du cœur;
- b) Phénomènes respiratoires:
 - Fréquence, régularité, rythme, débit, pression de l'air inspiré et expiré.

- c) Phénomènes nerveux:
Variation des réflexes;
Chronaxie.

B). — *Tests de la valeur fonctionnelle de l'organisme*

1. — *Tests neuromusculaires:*

- a) Force musculaire et endurance (dynamométrie);
- b) Précision, amplitude, régularité (ergographie, tests de traçage et de visée);
- c) Coordination et contrôle (tests de tremblement);
- d) Vitesse musculaire (tests dactylographiques).

2. — *Tests psycho-physiologiques:*

- a) Tests sensoriels:
 - Sensations cutanées simples (tests de pression);
 - Sensations cutanées complexes (esthésiométrie);
 - Sensations musculaires (notion de position, de résistance);
 - Sensations visuelles simples (couleur, acuité, champ visuel);
 - Sensations visuelles complexes (accommodation);
 - Sensations auditives simples (acuité, discrimination).
- b) Temps de réaction-simple ou de choix.
- c) Tests intellectuels ou mentaux:
 - Attention, mémoire, association logique.

QUELQUES TESTS DE FATIGUE PROPOSÉS RÉCEMMENT

Réaction de Donaggio. — C'est une réaction qui permet de révéler dans l'urine et le liquide céphalo-rachidien de l'homme la capacité de déterminer, dans des conditions particulières, un phénomène qu'il a appelé « phénomène d'obstacle ». On mélange dans un tube à essai une solution de *thionine* (couleur basique d'aniline) et de l'urine ou du liquide céphalo-rachidien préalablement filtrés, bouillis et refiltrés après refroidissement; à l'état normal, si on y ajoute du *molybdate d'ammonium*, la thionine est précipitée complètement.

Dans certaines conditions, l'urine ou le liquide céphalo-rachidien acquièrent la propriété de limiter ou d'empêcher cette précipitation, d'où le nom de phénomène d'obstacle. En faisant varier les proportions des réactifs on évalue le degré de la réaction. Ce phénomène se trouve dans toutes les maladies fébriles. L'étudiant dans la fatigue musculaire, Donaggio constate que : « tout de suite après un match de football de 90 minutes, l'urine présente la propriété de donner le phénomène d'obstacle ». Pour des efforts semblables, les joueurs moins entraînés présentent un phénomène d'obstacle plus intense que les entraînés. Le phénomène d'obstacle disparaît après un temps assez court.

On observe un comportement et une intensité différents en rapport aux différents individus. L'entraînement a une grande influence sur les résultats.

Tanini a retrouvé les réaction chez des nageurs, des boxeurs, des cavaliers.

Selon les conclusions du Congrès international de Médecine, appliquée à l'éducation physique et aux sports (Chamonix, septembre 1934), cette réaction a été introduite comme test de la fatigue dans la fiche internationale, parmi les examens pour l'éducation physique.

Rendel considère que l'intensité de la réaction de Donaggio donne une mesure du degré de fatigue d'un sujet, mais à condition qu'une étude préalable de sa manière de réagir ait permis de savoir comment sa réaction se modifie sous l'influence d'exercices fatigants, car il existe de grandes différences individuelles.

L'origine des substances qui déterminent la réaction a été étudiée; elles paraissent provenir du métabolisme azoté du muscle. Sont exclus: la créatinine, la leucine et la thyrosine. L'acide lactique donne bien la réaction mais à dose trop forte pour qu'il puisse être mis en cause.

Au point de vue pratique, pas grand'chose à attendre de la réaction, sauf dans le cas des sujets étudiés auparavant dans des recherches en série.

Statomètre. — Imaginé par Gièse et Busse, le statomètre est un appareil enregistreur qui permet de recueillir une courbe, du *travail de soutien* à bras tendu horizontalement, de poids qui peuvent être placés à des distances variables sur deux leviers que le sujet soulève simultanément et maintient le plus longtemps possible.

En comparant les courbes obtenues par les deux bras, la durée maxima possible de soutien, avant et après un exercice fatigant (demi-heure), on peut avoir une appréciation du degré de fatigue.

Rétrécissement du champ visuel. — Procédé étudié par Bujas. L'auteur lit à haute voix, à un rythme constant, une série de combinaisons différentes de lettres, et chaque fois que le sujet entend la lettre *m* ou *t*, il doit faire un trait sur le papier. Le rythme est d'abord de 88 lettres par minute, dans une deuxième expérience 100 lettres par minute.

Le champ visuel est mesuré avant et après le travail: la fatigue provoquée par un travail intellectuel provoque un rétrécissement du champ visuel.

Le degré du rétrécissement croît avec la quantité de travail accompli et l'impression subjective de fatigue.

Après un travail de courte durée, les limites du champ visuel reviennent rapidement à la normale. Après un très long travail, le rétrécissement persiste pendant un certain temps, s'exagérant parfois encore. Après un repos complet, le champ visuel revient toujours à la normale.

En résumé, nous voyons qu'aucun de ces tests n'est vraiment satisfaisant. Si tous permettent de reconnaître la fatigue, c'est de façon très variable entre les individus, et pour qu'un test ait une valeur certaine il faudra l'avoir auparavant recherché chez le même sujet à l'état normal.

Il semble cependant que les plus fidèles sont ceux portant sur les modifications urinaires et surtout sur la tension artérielle.

CONCLUSION

Notre travail est avant tout un travail bibliographique; les éléments en paraîtront peut-être disparates. Puisés à des sources fort diverses, nous nous sommes efforcé de les grouper convenablement et de les exposer de notre mieux.

Nous espérons que ces quelques pages faciliteront parfois les recherches de ceux qui voudront entreprendre d'autres travaux pour éclaircir un certain nombre de points dont nous avons rapporté ici les diverses explications déjà fournies, sans pouvoir toujours en donner une définitive.

Bibliographie

- ALLERS (R.). — Über die Möglichkeit einer Pharmakologischen Analyse der Arbeitskurve.
- BAETJER (A.-M.). — The effect of muscular fatigue upon resistance (*Physiol. Reviews*, 1932, 12, 453-458).
- BELLIN DU COTEAU. — Traité d'éducation physique. (G. Doin et Cie, édit., 1930, 1, 387-407).
- BOIGEY (M.). — Manuel scientifique d'éducation physique. (Masson, édit., 1939, 453-477).
- BUJAS (Z.). — Le rétrécissement du champ visuel comme test de fatigue. *Ann. Physiol.*, 1938, 38, 186-197).
- CHAILLEY-BERT (P.). — La fatigue. Traité de physiologie normale et pathologique. Binet, édit. Masson, 1929, 5, 681-695).
- CHRISTENSEN (E.-H.). — Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit, mit der Blutzucker während und nach körperlicher Arbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1931, 4, 128-153).
- DHERS (V.-H.). — Essai de critique théorique des tests de fatigue. (*Thèse de Paris*, 1924.)
- DOBROWOLNY (C.). — Experimentale Untersuchungen über den Einfluss körperlicher Höchstleistungen auf die natürlichen Widerstandskräfte (Alexine) in Blutserum. (*Arbeitsphysiol.*, 1930, 3, 230-249).

- DODEL. — Données expérimentales et critiques sur la technique et l'interprétation de l'argographie. (*Thèse de Bordeaux*, 1922).
- DONAGIO (A.). — Un test de la fatigue; méthode et résultats. (*Rapport du VII^e Congrès Internat. d'Education physique*; 1935, 1, 69-76).
- DURING (A.). — Die Theorie der Ermüdung. In « *Koerper und Arbeit, Handbuch der Arbeitsphysiol. (Atzler Threeme, édit., Leipzig, 1927)* ».
- FISCHER (I.). — Wirkungsgrad und Ermüdung. (*Arbeitsphysiol.*, 1931, 4, 109-127).
- FUCHS (R.-F.) et FOERSTER (H.-R.). — Über das Arbeitsmaximum der Skelettmuscles bei der Ermüdung. (*Arbeitsphysiol.*, 1933, 6, 622-639).
- GIAJA (J.). — Influence de la fatigue musculaire sur la puissance thermogénétique et la résistance au froid. (*Ann. de Physiol.*, 1932, 8, 535-545).
- GIESE (F.) et BUSSE (H.). — Indirekter Ermüdungsnachweis am Statometer. (*Arbeitsphysiol.*, 1932, 5, 620).
- GRECH (F.). — Influence de la fatigue sur le rendement musculaire. (*Thèse de Montpellier*, 1932).
- HORINCHI (K.). — Über den Einfluss der Gehirn-durch-Blutung auf die Ermüdung. (*Arbeitsphysiol.*, 1928, 1, 75-84).
- HUNTMULLER (O.). — Koerperliche Hochsleitungen und normale Widerstandskraefte. (*Abeitsphysiol.*, 1929, 1, 606-613).
- JOKL (E.), d'après A.-H. STEINHAUS. — Chronic effect of exercice. (*Physiol. Rev.*; 1933, 13, 103-147).

- JOLTRAIN (E.), DE GENNES (L.) et O'BRIEN. — L'hémo-clasie et effort musculaire. L'urticaire à la fatigue. (*Ann. de Médecine*, 1930, 28, 265-373).
- KUDRJAWZEW (N.). — Über die Beeinflussung der muskularen Leitungsfähigkeit durch Ermüdungstoffe. (*Arbeitsphysiol.*, 1928, 1, 203-212).
- LATMANISOWA (L.-W.), SCHAMARINA (N.-M.) et UFLAND (J.-M.). — Schwankungen der Musklachronaxie bei der Arbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1932, 5, 681-695).
- LAUGIER (H.) et LIBERSON (W.). — Variations de la chronaxie des antagonistes dans le travail musculaire. (*Soc. de Biol.*, 1931, 3, 924-926).
- LAVERAN (M.) et RÉGNARD (P.). — Recherches expérimentales sur la pathogénie du coup de chaleur. *Bull. de l'Acad. de Méd.*, 1894, 32, 501-514).
- LE HULUDUT (E.). — De la fatigue humaine en pathologie humaine et animale. (*Thèse de Lyon*, 1930).
- MARSCHAK (M.-E.). — Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss der aktiven Erhebung auf die Arbeitsfähigkeit der Menschen. (*Arbeitsphysiol.*, 1933, 6, 664-680).
- MATEEF (D.). — Der orthostatische Kreislaufkollaps. (*Arbeitsphysiol.*, 1935, 8, 595-606).
- MOSCHINI (A.) et DE NAGER (P.-P.). — Glycogène et fatigue musculaire. (*Soc. de Biol.*, 1938, 1, 836).
- MULLER (E.-A.). — Der Einfluss von Arbeitsgrösse, Pausenlänge und Pausen auf die Ermüdung bei statischer Haltearbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1935, 8, 435-445).

- OSAWA (M.). — Studien über die Ermüdung der Skelettmuskeln. (*Arbeitsphys.*, 1932, 5, 357-369).
- RECURT (J.-P.). — Coup de chaleur et fatigue. (*Thèse de Bordeaux*, 1939).
- RENDEL (G.). — Untersuchungen über die Donongio-Reaktion (*Arbeitsphysiol.*, 1939, 10, 521-529).
- SCHICK (J.) et GRUNBERG (A.). — Roentgenologische Atemstudien bei körperlicher Arbeit und Ermüdung. (*Arbeitsphysiol.*, 1935, 8, 545-550).
- SCHIRLITZ (K.). — Über Cafein bei ermüdender Muskelarbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1929, 2, 273-297).
- SCHULUTKO (J.). — Alimentaere glykonesche Kurve und physische Ermüdbarkeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1931, 4, 401-409).
- SCHWEITZER (A.), LAUGIER (H.) et VAHL. — Comparaison du travail ergographique à rythme uniforme avec le travail à intervalle variable. (*Le travail humain*, 1935, 3, 181-190).
- SIMONSON (E.). — Der heutige Stand der Theorie der Ermüdung. (*Ergebn. der Physiol.*, 1935, 37, 299-365).
- Zur Frage des Einflusses der Arbeitsdauer auf den Wirkungsgrad. (*Arbeitsphysiol.*, 1933, 6, 562-579).
- SNAPPER (I.) et GRUNBAUM. — Über Milchsäureausscheidung im Harn und Schweiss bei verschiedenen Sportarten. (*Ergebn. der Sportlichen Untersuchungen bei den IX Olympischen Spielen in Amsterdam*, 1928).
- SPEHL (P.). — Examen du sang et de l'urine après un cross. (*Bruxelles Médical*, 1938, 11, 374-381).

- SPIELBERG (P.). — Einfluss der Ermüdung auf den Gang. *Arbeitsphysiol.*, 1934, 7, 555-576).
- STANOYEVITCH (L.) et SAVIN (E.). — L'épreuve du Rose Bengale au cours du travail musculaire. *Soc. de Biol.*, 1937, 3, 543-547).
- THIEL (D.) et ESSIG (B.). — Cocain und Muskelarbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1930, 3, 287-297).
- UFLAND (J.-M.) et WUHL (I.-M.). — Die Veraenderungen de sensiblen Chronaxie bei der Arbeit. (*Arbeitsphysiol.*, 1933, 7, 409-421).
- Influence du travail intellectuel sur la chronaxie motrice et sensorielle. (*Le travail humain*, 1935, 3, 153-164).
- VALIDOW. — Contribution à l'étude de la fatigue de la préparation neuro-musculaire. (*Journ. of Phys. U.R.R.S.*, 1934, 17, 950-961).
- VIZIANO. — Sul comportamento della cronassia del po un laucro estenuante. (*Rass. Méd. app. lar. ind.*, 1933, 4, 125-136).
- ZURAWLEW (I.-N.) et FELMANN (A.-B.). — Uber den Einfluss der Blutstromunterbrechung auf die Restitution der ermüdeten menschlichen Muskels. (*Arbeitsphysiol.*, 1928, 1, 187-197).

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe; ma langue fera les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

En ma qualité de Censeur de tour,
j'ai lu la thèse ayant pour titre :

La Fatigue : Idées actuelles sur ses causes. Ses formes cliniques.

Tests d'appréciation du degré de fatigue

par Henri SINÉ

Je pense que la Faculté peut en permettre l'impression

Montpellier, le 6 Juin 1942

le Professeur, HÉDON

Vu :

Montpellier, le 9 Juin 1942

le Doyen, GIRAUD

Vu et permis d'imprimer :

Montpellier, le 10 Juin 1942

le Recteur,

Augustin SARRAILH

La Faculté de Médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

